



Банк России



## Сетевая структура экономики и распространение монетарных шоков

Серия докладов об экономических исследованиях

№ 130 / июнь 2024

Е. Васильева  
Е. Дерюгина  
А. Леонидов  
А. Пономаренко  
С. Радионов

**Екатерина Васильева**

Физический институт им. П.Н. Лебедева

E-mail: [serebryannikovae@lebedev.ru](mailto:serebryannikovae@lebedev.ru)**Елена Дерюгина**

Банк России, Департамент исследований и прогнозирования

E-mail: [DeryuginaEB@cbr.ru](mailto:DeryuginaEB@cbr.ru)**Андрей Леонидов**

Физический институт им. П.Н. Лебедева, Московский физико-технический институт

E-mail: [leonidovav@lebedev.ru](mailto:leonidovav@lebedev.ru)

*Работа Андрея Леонидова написана при поддержке гранта для исследовательских центров в области искусственного интеллекта, предоставленного Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации согласно соглашению о финансовой поддержке (идентификатор 000000D730321P5Q0002) и соглашению с Московским физико-техническим институтом от 01.11.2021 № 70-2021-00138.*

**Алексей Пономаренко**

Банк России, Департамент исследований и прогнозирования

E-mail: [PonomarenkoAA@cbr.ru](mailto:PonomarenkoAA@cbr.ru)**Станислав Радионов**

Физический институт им. П.Н. Лебедева

E-mail: [saradionov@edu.hse.ru](mailto:saradionov@edu.hse.ru)

Авторы выражают благодарность Рамису Хабибуллину за комментарии и помощь.

Материалы, выходящие в серии докладов об экономических исследованиях, анонимно рецензируются членами Консультативного совета по экономическим исследованиям при Банке России и внешними рецензентами.

Содержание настоящего доклада по экономическим исследованиям отражает личную позицию авторов. Результаты исследования являются предварительными и публикуются с целью стимулировать обсуждение и получить комментарии для возможной дальнейшей доработки материалов. Содержание и результаты исследования не следует рассматривать, в том числе цитировать в каких-либо изданиях, как официальную позицию Банка России или указание на официальную политику или решения регулятора. Любые ошибки в данном материале являются исключительно авторскими.

Все права защищены. Воспроизведение представленных материалов допускается только с разрешения авторов.

Фото на обложке: Shutterstock/FOTODOM

107016, г. Москва, ул. Неглинная, 12, к. В

Тел.: +7 (495) 771-91-00, факс: +7 (495) 621-64-65

Официальный сайт Банка России: [www.cbr.ru](http://www.cbr.ru)

© Центральный банк Российской Федерации, 2024

## Резюме

Мы проводим калибровку сетевой модели и монетарных шоков на основе эмпирических данных таблиц «затраты – выпуск» для российской экономики. С использованием полученной модели анализируются различные аспекты распространения монетарных шоков, такие как дисперсия относительных цен и локальные пиковые значения агрегированного индекса цен, наблюдаемые в период приближения к новому равновесию. Мы показываем, что эти процессы в значительной степени зависят от того, каким образом в экономику вливаются новые деньги. Поэтому можно предположить, что монетарные шоки с более концентрированными притоками денег в краткосрочной перспективе несут относительно более высокие инфляционные риски.

**Ключевые слова:** денежная масса, инфляция, эффект Кантильона, сети, таблицы «затраты – выпуск».

**JEL-классификация:** C63, C67, D57, E31, E51.

**Оглавление**

Резюме.....	3
1. Введение.....	5
2. Описание модели.....	6
2.1. Параметры модели .....	11
2.2. Монетарные шоки.....	12
3. Анализ результатов моделирования.....	13
4. Выводы.....	17
5. Список литературы.....	19
6. Приложение .....	21

## 1. Введение

Большое разнообразие и неоднородность экономических агентов обуславливают необходимость учитывать индивидуальные особенности и сложную структуру взаимосвязей при анализе макроэкономических процессов. Основой для такого анализа экономических взаимодействий, как правило, являются производственные связи между фирмами (измеренные на микроданных) или межотраслевые таблицы «затраты – выпуск», которые можно рассматривать как характеристики сети. Математически сетевая структура экономики описывается взвешенным ориентированным графом, узлы которого представляют экономических агентов, а ребра характеризуют направления и величины потоков товаров (услуг) и капитала. Топологические особенности сети определяют механизмы прохождения шоков различной природы в экономике.

Изучение взаимосвязи между сетевой структурой экономики и трансмиссией монетарных шоков занимает важное место в современной экономической литературе. Эту проблему иногда называют эффектом Кантильона в честь французского экономиста XVIII века (Cantillon 1755). Некоторые исследователи предпринимали попытки объяснить концепцию жесткости цен, широко используемую в макроэкономической теории, при помощи различных допущений о структуре экономики. Sheshinski and Weiss (1977), Calvo (1983), Mankiw and Reis (2002) и Sims (2003) разработали модели, в которых фирмы корректируют цены по различным ставкам в ответ на монетарные шоки – из-за различий в частоте и скорости получения информации о шоках. В итоге в изменениях цен возникает значительная гетерогенность. Cheng and Angus (2012) распространили понятие жесткости на сами деньги, исследовав непропорциональный эффект денежных вливаний. Они утверждают, что деньги сами по себе характеризуются ограниченной подвижностью (жесткостью) в том смысле, что новые деньги поступают экономическим агентам не мгновенно, что в основном связано с банковскими процедурами. Эта идея развивается в работе Deryugina and Ponomarenko (2021), в которой авторы показывают, что из-за неопределенности в отношении характера распределения денег в экономике для агентов нецелесообразно принятие решений о пересмотре цен на основе наблюдаемого совокупного показателя денежной массы. В результате деньги становятся опережающим индикатором для инфляции. Dietsch (2021) выделяет несколько форм смещений, которыми характеризуются различные способы создания денег и сопутствующие социальные эффекты. Общая информация об актуальности эффекта Кантильона представлена также в Sieroń (2019).

Рассмотрение экономической системы как сети восходит к известной модели «затраты – выпуск» Леонтьева (Leontief, 1936), которая впоследствии применялась исследователями в качестве структуры, позволяющей изучать трансмиссию идиосинкратических технологических шоков (Long and Plosser, 1983). Идея, представленная Long and Plosser (1983), получила широкое развитие в ряде недавних работ (см. подробный обзор исследований по этому направлению в Carvalho and Tahbaz-Salehi, 2019). Тем не менее основные вопросы, поставленные в указанных работах, по-прежнему находятся преимущественно в области особенностей трансмиссии технологических шоков. При этом число исследований, в которых анализ распространения монетарных шоков проводится

фактически с использованием сетевой модели, ограничено (несмотря на чрезвычайную актуальность такого подхода)<sup>1</sup>. Ozdagli and Weber (2017) представляют эмпирическую оценку роли производственной сети в трансмиссии монетарных шоков, используя псевдосетевую модель. Mandel et al. (2019) и Mandel and Veetil (2021) изучают влияние монетарных шоков на динамику цен с использованием агентской сетевой модели. Наша работа вносит вклад в эту область исследований по следующим направлениям. Мы калибруем сетевую модель и монетарные шоки на основе эмпирических данных, взятых из таблиц «затраты – выпуск» для российской экономики. Мы изучаем различные аспекты распространения монетарных шоков, такие как дисперсия относительных цен и локальные пиковые значения агрегированного индекса цен, наблюдаемые в период приближения к новому равновесию. Мы показываем, что эти события в значительной степени зависят от того, каким образом в экономику вливается новая денежная масса.

Работа имеет следующую структуру. В разделе 2 дано описание сетевой модели. В разделе 3 представлены настройка моделирования и результаты экспериментов. Раздел 4 содержит выводы.

## 2. Описание модели

Мы создаем расширенную версию модели, представленной в работе Mandel и Veetil (2021), которая позволяет анализировать ценовую динамику, вызванную монетарными шоками, которые распространяются по производственной сети.

Время дискретно и индексируется  $t = 1, 2, \dots$ . В экономике имеется несколько агентов. Во-первых, это многочисленные агенты, каждый из которых представляет отдельную отрасль. Кроме этого, в модели присутствует по одному агенту, представляющему совокупное домашнее хозяйство, государство и остальной мир (внешний агент).  $N = \{1, \dots, n\}$  обозначает набор отраслей (и товаров, которые они производят). Каждая фирма производит один товар и участвует в промежуточном потреблении. В процессе производства фирмы могут использовать товары собственного производства, товары, произведенные другими фирмами или импортированные, а также покупать рабочую силу у домохозяйства, выплачивая заработную плату. Репрезентативное домохозяйство поставляет  $q_H^t$  единиц рабочей силы, которая нормализуется к единице. Оно потребляет товары и услуги, производимые фирмами. Предпочтения домохозяйства представлены функцией полезности Кобба – Дугласа (Cobb – Douglas) следующего вида:

$$u(c_1, c_2, \dots, c_n) = \prod_{i=1}^n (c_i^{dom,t-1})^{H_i^{dom}} \prod_{i=1}^n (c_i^{imp,t-1})^{H_i^{imp}},$$

<sup>1</sup> Заметным исключением является направление литературы, изучающее межотраслевую неоднородность жесткости цен и включающее в используемые модели связи «затраты-выпуск» (Huang and Liu (2004), Shamlou (2010), Bouakez et al. (2014), Pasten et al. (2020)).

где  $c_i^{dom,t-1} \geq 0$ ,  $c_i^{imp,t-1} \geq 0$  – потребление домохозяйством товара  $i$  отечественного (индекс  $dom$ ) или импортного производства (индекс  $imp$ );  $H_i^{dom}$  и  $H_i^{imp}$  – доли товара  $i$  в потреблении домохозяйства, то есть  $\sum_{i=1}^n H_i^{dom} + \sum_{i=1}^n H_i^{imp} = 1$ .

Государство не участвует в производственном процессе, но потребляет товары, оплачивая их за счет доходов, полученных от налогов, тем самым перераспределяя часть денежных потоков в соответствии со своей структурой потребления. Для промежуточного и конечного потребления используются как товары отечественного производства, так и импортные товары. Внешний агент поставяет импортные товары и создает спрос на экспорт.

Как и в работе Mandel и Veetil (2021), в настоящем докладе предполагается, что фирмы не получают прибыль, а используют все средства от продаж как оборотный капитал и тратят его на покупку товаров. Производство организовано согласно функции полезности Кобба – Дугласа, которая представлена следующим уравнением:

$$q_i^t = (L_i^{t-1})^{w_i} \prod_{j=1}^n (X_{ij}^{dom,t-1})^{a_{ji}^{dom}} \prod_{j=1}^n (X_{ij}^{imp,t-1})^{a_{ji}^{imp}}, \quad (1)$$

где  $L_i^{t-1} \geq 0$  – трудозатраты,  $X_{ij}^{dom,t-1} \geq 0$  – промежуточное потребление товара  $j$  отечественного производства,  $X_{ij}^{imp,t-1} \geq 0$  – промежуточное потребление импортируемого товара  $j$ . Параметры  $w_i$ ,  $a_{ji}^{dom}$ ,  $a_{ji}^{imp}$  показывают долю рабочей силы, соответствующие доли отечественного и импортного товара  $j$  в себестоимости отрасли  $i$ . Мы предполагаем постоянную отдачу от масштаба технологии производства, поэтому для каждого  $i \in \{1, \dots, n\}$

$$\sum_{j=1}^n a_{ji}^{dom} + \sum_{j=1}^n a_{ji}^{imp} + w_i = 1.$$

Матрицы  $A^{dom} = (a_{ij}^{dom})_{i,j \in N} \in \mathbb{R}_+^{N \times N}$  и  $A^{imp} = (a_{ij}^{imp})_{i,j \in N} \in \mathbb{R}_+^{N \times N}$  показывают межотраслевые связи в экономике.

Введем следующие обозначения. Пусть  $H_j^{dom}$ ,  $H_j^{imp}$ ,  $G_j^{dom}$ ,  $G_j^{imp}$ ,  $Ex_j^{dom}$ ,  $Ex_j^{imp}$  – доли отечественного и импортного товара  $j$  в потреблении совокупного домохозяйства, государства и внешнего сектора ( $Ex_j^{imp}$  – реэкспорт). Далее пусть  $m_j^t$ ,  $m_H^t$ ,  $m_G^t$ ,  $m_{RW}^t$  – денежные массы в национальной валюте, находящиеся в распоряжении отраслей  $j \in \{1, \dots, n\}$ , совокупного домохозяйства, государства и остального мира. Пусть  $p_j^{dom,t}$ ,  $p_j^{imp,t}$  – цены

на отечественный и импортный товар  $j \in \{1, \dots, n\}$ , а  $p^{H,t}$  – средневзвешенная цена на рабочую силу при рыночном равновесии<sup>2</sup>:

$$p^{H,t} = \sum_{i=1}^n w_i m_i^t. \quad (2)$$

Производственные технологии Кобба – Дугласа определяют оптимальное распределение оборотного капитала  $m_i^t$  отрасли  $i$  так, чтобы номинальный спрос на товар  $j$  был равен  $a_{ji}^{dom} m_i^t + a_{ji}^{imp} m_i^t$ . Мы предполагаем, что цены являются абсолютно гибкими, а промежуточное потребление товаров  $j$  отраслью  $i$  удовлетворяет следующему отношению:

$$X_{ij}^{dom,t-1} = \frac{a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{p_j^{dom,t-1}}, X_{ij}^{imp,t-1} = \frac{a_{ji}^{imp} m_i^{t-1}}{p_j^{imp,t-1}}. \quad (3)$$

Определение  $p^{H,t}$  предполагает аналогичное соотношение касательно трудозатрат:

$$L_i^{t-1} = \frac{w_i m_i^{t-1}}{p^{H,t-1}}. \quad (4)$$

Динамика движения денег в отрасли  $i \in \{1, \dots, n\}$  определяется ее доходами от продаж:

$$m_i^{t+1} = p_i^{dom,t} q_i^t, \quad (5)$$

и верно следующее уравнение баланса<sup>3</sup>:

$$p_i^{dom,t} q_i^t = \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} m_j^t + H_i^{dom} m_H^t + G_i^{dom} m_G^t + Ex_i^{dom} \cdot Q \cdot er^t, \quad (6)$$

где  $Q$  – денежная масса в иностранной валюте (мы предполагаем, что остальной мир находится в равновесии и, следовательно, его денежная масса не меняется),  $er^t$  – обменный

<sup>2</sup> Так как суммарное предложение домохозяйств  $q_H^t$  нормализуется к 1, совокупный доход домохозяйств  $p^{H,t} q_H^t$  равен  $p^{H,t}$ , что должно равняться суммарным расходам домохозяйств  $\sum_{i=1}^n w_i m_i^t$ .

<sup>3</sup> Отметим, что, поскольку фирмы используют все полученные от продаж денежные средства в качестве оборотного капитала, они тратят их на закупку товаров. Правая сторона уравнения (6) определяет номинальный спрос на товар  $i$ :

$$D_i^{dom,t} = \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} m_j^t + H_i^{dom} m_H^t + G_i^{dom} m_G^t + Ex_i^{dom} \cdot Q \cdot er^t.$$



курс; мы можем определить  $m_{RW}^t = Q \cdot er^t$  как денежную массу в национальной валюте, используемую для экспорта.

Цена товара  $i$  получена из (6):

$$p_i^{dom,t} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} m_j^t + H_i^{dom} m_H^t + G_i^{dom} m_G^t + Ex_i^{dom} m_{RW}^t}{q_i^t}. \quad (7)$$

Денежная масса домохозяйства формируется за счет трудовых доходов:

$$m_H^{t+1} = \sum_{i=1}^n w_i m_i^t, \quad (8)$$

а денежная масса государства формируется за счет налоговых поступлений:

$$m_G^{t+1} = \sum_{i=1}^n taxes_i m_i^t, \quad (9)$$

где  $taxes_i$  – доля налога в затратах на производство отрасли  $i^4$ .

Денежная масса остального мира формируется спросом на импорт в рамках всей страны:

$$m_{RW}^{t+1} = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{i=1}^n a_{ji}^{imp} m_i^t + H_j^{imp} m_H^t + G_j^{imp} m_G^t + Ex_j^{imp} m_{RW}^t \right]. \quad (10)$$

Динамика цен на импортируемые товары определяется динамикой спроса на импорт:

$$p_j^{imp,t} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \sum_{i=1}^n a_{ji}^{imp} m_i^t + H_j^{imp} m_H^t + G_j^{imp} m_G^t + Ex_j^{imp} m_{RW}^t \right]}{\sum_{i=1}^n \left[ \sum_{i=1}^n a_{ji}^{imp} m_i^{t-1} + H_j^{imp} m_H^{t-1} + G_j^{imp} m_G^{t-1} + Ex_j^{imp} m_{RW}^{t-1} \right]} \cdot p_j^{imp,t-1}. \quad (11)$$

Можно получить явную формулу динамики цен на товары отечественного производства. Введем следующие обозначения:

<sup>4</sup> Мы учитываем перераспределительную функцию государства в движении денежных средств и пересчитываем структурные показатели.

$$U_i^t = H_i^{dom} m_H^t + G_i^{dom} m_G^t + Ex_i^{dom} m_{RW}^t.$$

Тогда из (5) и (6) следует, что

$$m_i^{t+1} = p_i^{dom,t} q_i^t = \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} m_j^t + U_i^t. \quad (12)$$

Итерируя это выражение, получаем:

$$\begin{aligned} m_i^{t+1} &= \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} (\sum_{k=1}^n a_{jk}^{dom} m_k^{t-1} + U_j^{t-1}) + U_i^t = \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ij}^{dom} a_{jk}^{dom} m_k^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t = \sum_{k=1}^n [A^2]_{ik} m_k^{t-1} + \\ &+ \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t. \end{aligned} \quad (13)$$

Далее, используя (5), получаем следующее представление объема производства отрасли  $i$ :

$$q_i^t = \frac{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t}{p_i^{dom,t}}. \quad (14)$$

Подставляя (3) и (4) в (1), получаем:

$$\begin{aligned} q_i^t &= \left( \frac{w_i m_i^{t-1}}{p^{H,t-1}} \right)^{w_i} \prod_{j=1}^n \left( \frac{a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{p_j^{dom,t-1}} \right)^{a_{ji}^{dom}} \prod_{j=1}^n \left( \frac{a_{ji}^{imp} m_i^{t-1}}{p_j^{imp,t-1}} \right)^{a_{ji}^{imp}} \\ &= m_i^{t-1} \left( \frac{w_i}{p^{H,t-1}} \right)^{w_i} \prod_{j=1}^n \left( \frac{a_{ji}^{dom}}{p_j^{dom,t-1}} \right)^{a_{ji}^{dom}} \prod_{j=1}^n \left( \frac{a_{ji}^{imp}}{p_j^{imp,t-1}} \right)^{a_{ji}^{imp}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Подставляя (15) в (14) и выражая  $p_i^{dom,t}$ , получаем:

$$p_i^{dom,t} = \frac{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t}{m_i^{t-1}} \times \left(\frac{p^{H,t-1}}{w_i}\right)^{w_i} \prod_{j=1}^n \left(\frac{p_j^{dom,t-1}}{a_{ji}^{dom}}\right)^{a_{ji}^{dom}} \prod_{j=1}^n \left(\frac{p_j^{imp,t-1}}{a_{ji}^{imp}}\right)^{a_{ji}^{imp}}. \quad (16)$$

Ключевой особенностью уравнения (16) является то, что непосредственный чувствительный к сети канал, связывающий  $m^{t-1}$  и  $p^{dom,t}$ , опосредован матрицей  $(A^{dom})^2$ .

## 2.1. Параметры модели

Для определения сетевой структуры модели<sup>5</sup> мы используем данные российских таблиц «затраты – выпуск» за 2016 год. Для построения структуры сети мы анализируем симметричные<sup>6</sup> таблицы отечественных и импортных товаров и рассматриваем товары 98 отечественных и 98 импортных отраслей (подробная отраслевая разбивка приводится в табл. П-1). Сетевые параметры  $A^{dom}$ ,  $A^{imp}$ ,  $H^{dom}$ ,  $H^{imp}$ ,  $G^{dom}$ ,  $G^{imp}$ ,  $Ex^{dom}$ ,  $Ex^{imp}$  определяются при помощи таблиц «затраты – выпуск»<sup>7</sup>.

Остальные показатели определяются эндогенно посредством симуляционного моделирования по формулам (1)–(11) с произвольно заданными исходными значениями и тренировочным периодом. Полученные значения показателей (по окончании прогона) представляют собой стационарные уровни в модели. Мы анализируем постшоковую динамику по отношению к этим стационарным уровням. Предположим, что при  $t = 0$  денежная масса распределяется поровну между всеми агентами по одной единице в национальной валюте, у каждой фирмы есть по одному продукту и обменный курс равен 1:

$$m_i^0 = 1, \forall i \in \{1, \dots, n\},$$

$$m_H^0 = m_G^0 = m_{RW}^0 = 1,$$

$$q_i^0 = 1, \forall i \in \{1, \dots, n\},$$

$$er^0 = 1.$$

Начальное значение цены определяется по формулам (2) и (7). Кроме того, в период сходимости до достижения равновесия<sup>8</sup> мы предполагаем, что цены в национальной валюте

<sup>5</sup> Следует признать, что было бы предпочтительнее использовать для этой цели данные на уровне фирмы. Однако такой подход невозможен в связи с недоступностью данных. Поэтому в случае России для построения сетевой модели, как правило, используются данные на уровне отрасли. Примеры можно найти в работах Леонидов и Серебрянникова (2017, 2019), Turdyeva (2019).

<sup>6</sup> В частности, мы преобразовали таблицы «продукция по отраслям» в таблицы «отрасль по отрасли». Преобразование проводилось на основе экспертного суждения.

<sup>7</sup> В нашей модели затраты производства  $A^{dom}$  и  $A^{imp}$  фактически включают промежуточное потребление и амортизацию капитала.

<sup>8</sup> До достижения равновесия нам понадобилось 100 итераций.

на одни и те же отечественные и импортные товары равны. После достижения равновесия мы использовали формулу (11) для цен импортных товаров.

## 2.2. Монетарные шоки

Цель настоящей работы – провести анализ отклика цен на монетарные шоки. Вместо использования абстрактного подхода «вброс вертолетных денег» (helicopter drop) мы задаем более реалистичную процедуру вливания денег.

Сначала опишем теоретические аспекты. Рассмотрим монетарный шок в секторе  $i$  на момент  $t - 1$ . Пусть денежная масса в этом секторе будет

$$\widetilde{m}_i^{t-1} = \mu m_i^{t-1}.$$

Из (7) можно получить выражение для новых цен в прочих секторах экономики на момент  $t - 1$ :

$$p_j^{\widetilde{dom}, t-1} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{jk}^{dom} m_k^{t-1} + U_j^{t-1} + (\mu-1)a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{q_j^{t-1}} = p_j^{dom, t-1} + \frac{(\mu-1)a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{q_j^{t-1}}. \quad (17)$$

Подставляя (17) в (16), получаем:

$$p_i^{\widetilde{dom}, t} = \frac{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + (\mu-1)[(A^{dom})^2]_{ii} m_i^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t}{\mu m_i^{t-1}} \times \left( \frac{p^{H, t-1}}{w_i} \right)^{w_i} \prod_{j=1}^n \left( \frac{1}{a_{ji}^{dom}} \right)^{a_{ji}^{dom}} \left( p_j^{dom, t-1} + (\mu-1) \frac{a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{q_j^{t-1}} \right)^{a_{ji}^{dom}} \times \prod_{j=1}^n \left( \frac{p_j^{imp, t-1}}{a_{ji}^{imp}} \right)^{a_{ji}^{imp}}. \quad (18)$$

Рассмотрим соотношение цен для сектора  $i$  с учетом шока и без него:

$$\frac{p_i^{\widetilde{dom}, t}}{p_i^{dom, t}} = \frac{1}{\mu} \frac{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + (\mu-1)[(A^{dom})^2]_{ii} m_i^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t}{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t} \times \prod_{j=1}^n \left( 1 + (\mu-1) \frac{a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{p_j^{dom, t-1} q_j^{t-1}} \right)^{a_{ji}^{dom}} = \frac{1}{\mu} \frac{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + (\mu-1)[(A^{dom})^2]_{ii} m_i^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t}{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t} \times \prod_{j=1}^n \left( 1 + (\mu-1) \frac{a_{ji}^{dom} m_i^{t-1}}{m_j^{t-1}} \right)^{a_{ji}^{dom}}. \quad (19)$$

Логарифмированием получаем:

$$\ln\left(\frac{p_i^{dom,t}}{p_i^{dom,t-1}}\right) = \ln\left(\frac{1}{\mu} + \frac{\mu-1}{\mu} \frac{[(A^{dom})^2]_{ii} m_i^{t-1}}{\sum_{k=1}^n [(A^{dom})^2]_{ik} m_k^{t-1} + \sum_{j=1}^n a_{ij}^{dom} U_j^{t-1} + U_i^t}\right) + \sum_{j=1}^n a_{ji}^{dom} \ln\left(1 + (\mu-1) a_{ji}^{dom} \frac{m_i^{t-1}}{m_j^{t-1}}\right). \quad (20)$$

Полное аналитическое изучение этого выражения проблематично из-за сложности реальной структуры сети «затраты – выпуск». В связи с этим в следующем подразделе мы приводим результаты числовых упражнений. Но все же можно представить некоторые аналитические результаты качественного поведения модели в период после монетарного шока. Во-первых, после монетарного шока модель асимптотически сходится к новому уровню цен, при этом все цены выше, чем до шока. Во-вторых, постшоковая динамика цен не монотонна: как правило, наблюдается значительный рост цен в первые периоды после шока, а за ним следует устойчивый – но обычно не монотонный – спад. Таким образом, мы продолжаем анализ на основе моделирования.

### 3. Анализ результатов моделирования

Деньги создаются преимущественно за счет банковского кредитования. Когда банк выдает кредит, он учитывает его как актив, а новый депозит – как пассив. То есть, кредитуя заемщиков, банки создают депозиты (изначально принадлежащие заемщикам). Депозиты затем могут использоваться в качестве платежного средства и, следовательно, распределяться в экономике среди агентов (более подробно об этом см. McLeay et al., 2014).

Важно отметить, что кредит используется для финансирования конкретной сделки, а не для осуществления абстрактного «сброса денег с вертолета». Поэтому точки ввода вновь созданной денежной массы не случайны: они связаны с типичными операциями в экономике. Для определения типов вливания дополнительной денежной массы в сетевую структуру экономики мы используем несколько подходов.

1. *Регулярное кредитование.* Новая денежная масса используется для приобретения товаров и услуг согласно товарной структуре промежуточного потребления фирм<sup>9</sup> и конечного потребления домохозяйств. Для определения изменений в денежных резервах по секторам мы используем данные Банка России об объемах кредитов, выданных юридическим лицам – резидентам и предпринимателям, а также данные о кредитах физическим лицам (*credit*). Формально шок вводится следующим образом:

<sup>9</sup> Необходимо признать, что связь всех кредитов юридическим лицам с промежуточным потреблением (не с инвестициями) – произвольное предположение. Возможно, этот тип шока можно интерпретировать как представление равномерного распределения вновь созданных денежных масс.

$$m_i^{t_0} = m_i^{t_0} + credit_i \cdot e, \quad \forall i = 1 \dots n.$$

2. *Потребление домохозяйств.* Для приобретения товаров и услуг используется новая денежная масса в соответствии с товарной структурой потребления домохозяйств. Формально шок вводится следующим образом:

$$m_H^{t_0} = m_H^{t_0} + e.$$

3. *Инвестиционный спрос.* Для приобретения товаров и услуг используется новая денежная масса в соответствии с товарной структурой инвестиций в основной капитал. Формально шок вводится следующим образом:

$$D_j^{dom,t_0} = D_j^{dom,t_0} + invest_j \cdot e, \quad \forall j = 1 \dots n.$$

4. *Государственное потребление*<sup>10</sup>. Для приобретения товаров и услуг используется новая денежная масса в соответствии с товарной структурой государственного потребления. Формально шок вводится следующим образом:

$$m_G^{t_0} = m_G^{t_0} + e.$$

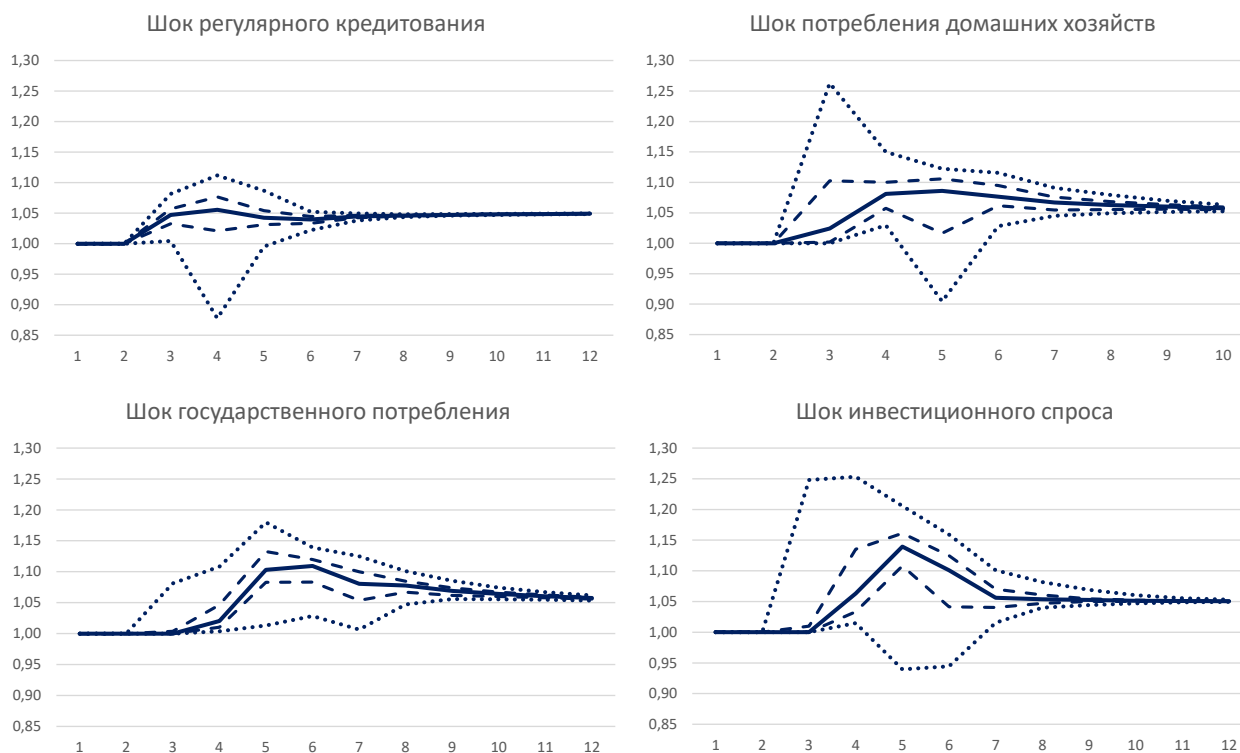
В каждом случае мы предполагаем, что монетарный шок увеличивает общую сумму денежной массы на  $e = 5\%$  в момент  $t_0$ . После любого типа монетарного шока в конечном итоге все цены вырастут на 5%, как определяет дизайн нашей модели. Тем не менее краткосрочная динамика чувствительна к спецификации шока.

В нашей работе мы фокусируемся на двух аспектах процесса ценовой корректировки. Как и Mandel et al. (2019) и Mandel and Veetil (2021), мы наблюдаем увеличение разброса отраслевых цен. Результаты, представленные на рис. 1, демонстрируют распределение отклика цен на различные монетарные шоки. Сплошная линия показывает среднее значение, пунктирные линии – 25-й и 75-й процентили, точечные пунктирные линии – 5-й и 95-й процентили. Все шоки вызывают временные колебания цен до окончательной стабилизации. Большая часть индексов цен увеличивается в ответ на монетарные шоки растущего денежного предложения, хотя наблюдается и дефляция ценовых индексов. Мы находим, что

<sup>10</sup> Напомним, что расходы государственного бюджета направляются не только на государственное потребление (то есть закупки товаров и услуг). Государственные расходы могут также направляться на накопление основного капитала, субсидии, трансферты. Таким образом, эффект от увеличения государственных расходов зависит от их структуры и не должен отождествляться с эффектом от роста государственного потребления. Он может иметь черты как шока инвестиционного спроса (в случае роста государственных инвестиций), так и шока потребления домашних хозяйств (в случае роста трансфертов домашним хозяйствам).

шок «регулярного кредитования» приводит к самой плавной, быстро затухающей реакции и равномерному отклику цен. Шок потребления домохозяйств и инвестиционного спроса вызывают более волатильную, длительную и распределенную реакцию.

**Рис. 1.** Распределение отраслевых откликов цен на монетарные шоки (50-й, 25–75-й и 5–95-й процентиля уровня цен)

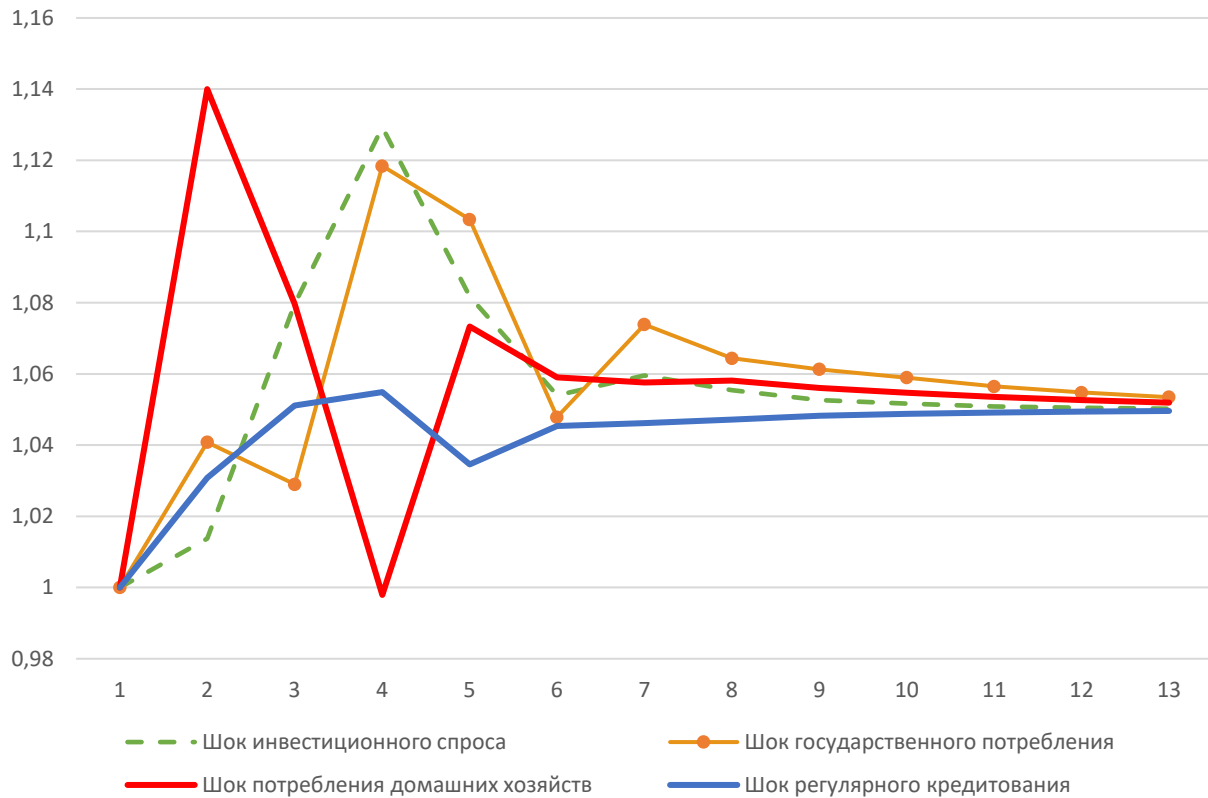


Далее мы продолжаем анализ реакции совокупного индекса потребительских цен (ИПЦ), рассчитанного с использованием весов, связанных со структурой конечного потребления домохозяйств. Нас особенно интересуют локальные пики, наблюдаемые при адаптации к монетарным шокам. Результаты представлены на рис. 2. Примечательно, что только шок регулярного кредитования не приводит к чрезмерному росту совокупного уровня цен. Как и следовало ожидать, шок потребления домохозяйств, который по умолчанию сконцентрирован на рынках потребительских товаров, вызывает немедленный резкий рост ИПЦ<sup>11</sup>. Шоки инвестиционного спроса и государственного потребления не оказывают прямого влияния на потребительские товары. Тем не менее в последующие периоды влияние на цены

<sup>11</sup> Можно заметить, что при реализации шока потребления домашних хозяйств после резкого роста ИПЦ следует такое же резкое снижение. Эта (не вполне реалистичная) черта определяется упрощенным механизмом модели. Фирмы не пытаются управлять товарно-материальными запасами и самостоятельно устанавливать цены, а распродают весь произведенный объем товаров по клиринговым ценам. В результате, столкнувшись с пиковым спросом в первый период после шока, фирмы увеличивают выпуск и полностью распродают товары в следующие периоды. Учитывая, что во втором и третьем периодах после шока спрос оказывается меньше, а выпуск больше, цены временно падают. По мере стабилизации выпуска на обычном уровне, цены устанавливаются на новом уровне, обусловленном ростом номинального спроса (пропорционального увеличению денежной массы).

потребительских товаров существенно возрастает, и они превышают уровни долгосрочного устойчивого состояния.

**Рис. 2.** Реакция совокупного индекса потребительских цен на монетарные шоки (уровень цен)



Далее мы рассматриваем отраслевые монетарные шоки (всего их 98), где вся вновь создаваемая денежная масса полностью используется для финансирования покупки одного товара или услуги. Формально эти шоки вводятся следующим образом:

$$D_j^{dom,t_0} = D_j^{dom,t_0} + prod_j \cdot e, \quad \forall j = 1 \dots n,$$

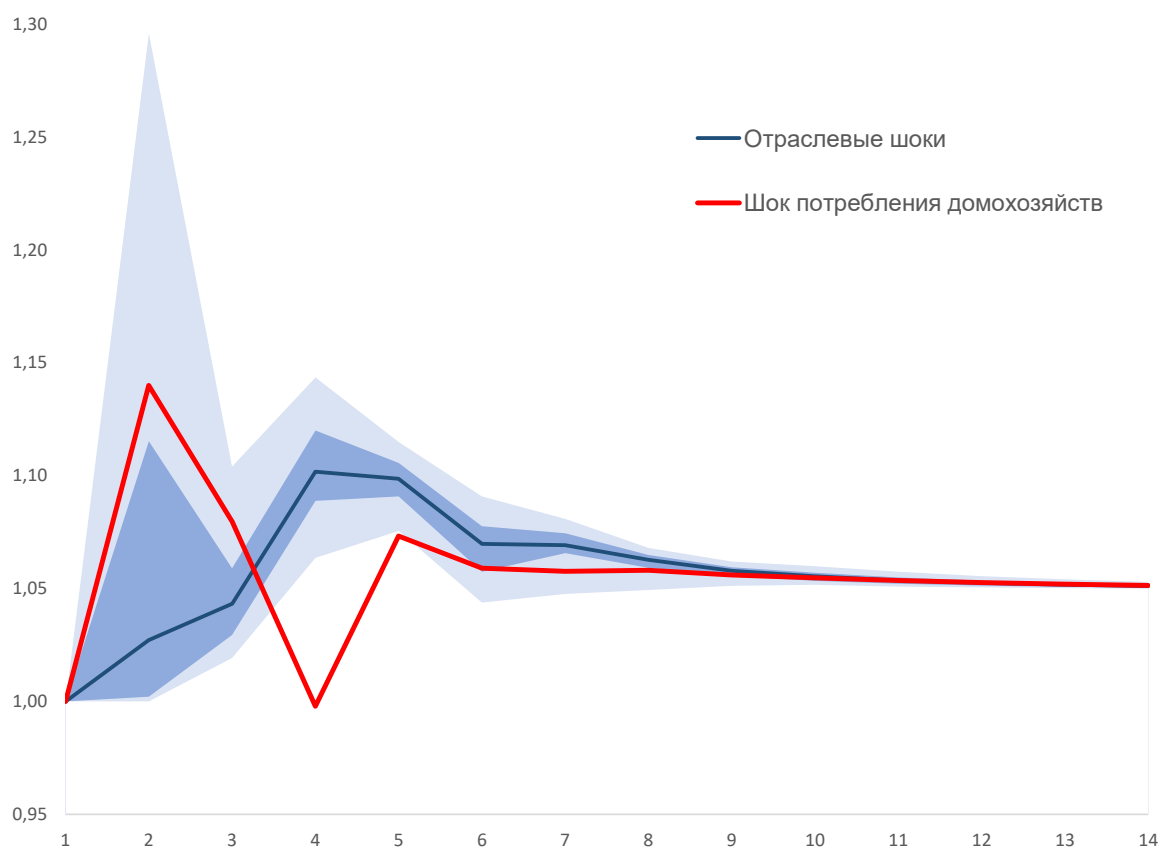
где  $prod_j = \begin{cases} 1, & j = k, t = t_0 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$ .

Мы наблюдаем диапазон откликов ИПЦ на эти шоки, который показан на рис. 3. Распределение откликов на шоки представлено медианой (сплошная синяя линия) и затененными синими зонами (светлая область представляет 5-й и 95-й диапазон значений, темная находится между 25-м и 75-м перцентилями). Как видно на графике, некоторые отраслевые шоки могут вызывать немедленную и значительную реакцию ИПЦ. Очевидно, что эти шоки направлены на рынки, которые относительно невелики, но имеют огромный вес в потребительской корзине. Большой интерес, однако, вызывает тот факт, что множество



отраслевых шоков приводит к существенному чрезмерному росту ИПЦ по мере его приближения к новому равновесию (подробные результаты представлены в табл. П-1). Очевидно, это означает, что сетевая структура экономики обеспечивает замедленное (хотя и концентрированное) поступление новых денежных средств на рынки потребительских товаров, даже несмотря на то что эти рынки изначально не затронуты. Вероятно, к такому результату может приводить вливание денег через отрасли с высоким соотношением заработной платы к промежуточному потреблению (например, услуги). Тем не менее, как уже говорилось в разделе 2.2, интуитивная интерпретация механизмов, лежащих в основе распространения шоков, является сложной, и моделирование экспериментов представляется единственным надежным подходом к такому анализу.

**Рис. 3.** Совокупная реакция индекса потребительских цен на монетарные шоки (50-й, 25–75-й и 5–95-й процентиля уровня цен)



#### 4. Выводы

Использование сетевой структуры при моделировании распространения монетарных шоков помогает предсказать ряд нетривиальных эффектов: например, наличие разнонаправленных колебаний в относительных ценах, а также волатильность совокупного индекса цен во время приближения ценовой динамики к новому равновесию. Здесь важно

отметить, что эти события очень чувствительны к первоначальной структуре (точкам ввода) денежных вливаний<sup>12</sup>.

Из четырех рассмотренных нами подходов к введению дополнительной денежной массы в экономику самая плавная и быстро затухающая реакция ценовых индексов наблюдается в ответ на увеличение денег в соответствии со структурой кредитования. В то же время наиболее волатильным является введение денежных средств пропорционально потребительским расходам домохозяйств. Оно вызывает стремительный рост ИПЦ и медленно сходится к новому равновесию. Вместе с тем необходимо отметить, что концентрированное вливание дополнительной денежной массы через отдельные отраслевые рынки в краткосрочной перспективе также может существенно дестабилизировать динамику инфляции. Такие шоки действуют на цены с разной скоростью и интенсивностью. При этом сетевая структура экономики в любом случае обеспечивает отложенное поступление новых денежных средств на рынки потребительских товаров, даже несмотря на то что эти рынки изначально не затронуты. В некоторых случаях это поступление может оказаться единомоментным и вызвать последствия, сопоставимые с шоком, изначально направленным на рынки потребительских товаров.

Полученные выводы имеют некоторые области практического применения. Следует отметить, что в нашей упрощенной модели все монетарные шоки являются по умолчанию нейтральными (то есть в долгосрочной перспективе приводят к пропорциональному повышению всех цен). Вероятно, в более реалистичной схеме моделирования, в которой предусматриваются последствия второго порядка, чрезмерный рост отраслевых или совокупных цен может переходить в самоусиливающиеся инфляционные процессы. В связи с этим обстоятельством регуляторы могут рассматривать такие события как крайне нежелательные. При этом формулировка прикладных количественных рекомендаций не входит в задачи настоящей работы. Наш общий вывод состоит в том, что монетарные шоки с более концентрированными притоками денег в краткосрочной перспективе несут относительно более высокие инфляционные риски.

---

<sup>12</sup> Важно отметить, что мы калибруем нашу модель на основе отраслевых данных. Вероятно, данные на уровне фирмы помогут выявить существенно более сложную структуру сети и, соответственно, предсказать более необычные результаты.

## 5. Список литературы

1. Bouakez H., Cardia E., Ruge-Murcia F. (2014). Sectoral price rigidity and aggregate dynamics. *European Economic Review* 65, 1–22.
2. Calvo G.A. (1983). Staggered prices in a utility-maximizing framework. *Journal of Monetary Economics*, 12(3), 383–398.
3. Cantillon R. (1931). *Essai sur la nature du commerce en general*. Macmillan, London.
4. Carvalho V.M., Tahbaz-Salehi A. (2019). Production networks: A primer. *Annual Review of Economics*, 11, 635–663.
5. Cheng W., Angus S. (2012). Cantillon Effect of Monetary Injection through Deficit Spending. Discussion Papers 12/12, Monash University: Department of Economics.
6. Deryugina E., Ponomarenko A. (2021). Explaining the lead–lag pattern in the money–inflation relationship: a microsimulation approach. *Journal of Evolutionary Economics*, 31(4), 1113–1128.
7. Dietsch P. (2021). Money creation, debt, and justice. *Politics, Philosophy & Economics*. April 2021, doi: 10.1177/1470594X21999736.
8. Huang K.X. D., Liu Z. (2004). Input–output structure and nominal rigidity: The persistence problem revisited. *Macroeconomic Dynamics*, 8(2), 188–206.
9. Leontief W.W. (1936). Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The Review of Economics and Statistics*, 18, 105–125.
10. Mandel A., Taghawi-Nejad D., Veetil V.P. (2019). The price effects of monetary shocks in a network economy. *Journal of Economic Behavior & Organisation*, 164(1), 300–316.
11. Mandel A., Veetil V.P. (2021). Monetary dynamics in a network economy. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 125, 104084.
12. Mankiw N.G., Reis R. (2002). Sticky information versus sticky prices: a proposal to replace the New Keynesian Phillips curve. *The Quarterly Journal of Economics*, 117(4), 1295–1328.
13. McLeay M., Radia A., Thomas R. (2014). Money creation in the modern economy. *Bank of England Quarterly Bulletin* 54(1), 14–27.
14. Ozdagli A., Weber M. (2017). Monetary policy through production networks: Evidence from the stock market. NBER Working Paper 23424.
15. Pasten E., Schoenle R., Weber M. (2020). The Propagation of Monetary Policy Shocks in a Heterogeneous Production Economy. *Journal of Monetary Economics*, 116, 1–22.
16. Shamloo M. (2010). Price setting in a model with production chains: Evidence from sectoral data. IMF Working Papers 10(82).

17. Sheshinski E., Weiss Y. (1977). Inflation and Costs of Price Adjustment. *The Review of Economic Studies*, 44(2), 287–303.
18. Sieroń A. (2019). A Note on Some Recent Misinterpretations of the Cantillon Effect. *The Quarterly Journal of Austrian Economics*, 22(4), 596–602.
19. Sims C. A. (2003). Implications of rational inattention. *Journal of Monetary Economics*, 50(3), 665–690.
20. Turdyeva N. (2019). Effects of terms of trade shocks on the Russian economy. *Bank of Russia Working Papers Series No. 48*.
21. Леонидов А.В., Серебрянникова Е.Е. (2017). Динамическая модель несовершенной конкуренции в многосекторной экономике. *Проблемы управления*, 4, 8–16 (на русском языке).
22. Леонидов А.В., Серебрянникова Е.Е. (2019). Исследование отклика на технологические шоки в многосекторной модели несовершенной конкуренции. *Проблемы управления*, 2, 30–40 (на русском языке).

## 6. Приложение

Табл. П-1. Реакция ИПЦ на отраслевые монетарные шоки

Отрасль	Пиковый уровень локальных цен	Количество периодов после шока до достижения пикового уровня локальных цен
Продукция сельского хозяйства	1,14	2
Услуги в области растениеводства и животноводства, кроме ветеринарных услуг, услуги в области декоративного садоводства	1,14	3
Услуги, связанные с охотой, ловлей и разведением диких животных	1,22	1
Продукция лесоводства, лесозаготовок и связанные с этим услуги	1,10	3
Рыба и прочая продукция рыболовства и рыбоводства; услуги, связанные с рыболовством и рыбоводством	1,11	3
Уголь каменный и уголь бурый (лигнит); торф	1,11	4
Нефть, включая нефть, получаемую из битуминозных минералов; сланцы горючие (битуминозные) и песчаники битуминозные	1,12	4
Газ природный в газообразном или сжиженном состоянии, включая услуги по сжижению и регазификации природного газа для транспортирования	1,11	3
Услуги, связанные с добычей нефти и горючего природного газа, кроме геологоразведочных работ	1,11	4
Руды урановые и ториевые	1,12	4
Руды железные	1,12	4
Руды цветных металлов, кроме урановых и ториевых руд	1,13	3
Продукция горнодобывающих производств прочая	1,11	4
Мясо, продукты мясные и прочая продукция переработки животных	1,26	1
Рыба и продукты рыбные переработанные и консервированные	1,18	1
Фрукты, овощи и картофель переработанные и консервированные	1,15	1
Масла и жиры животные и растительные	1,12	3
Продукты молочные и мороженое	1,24	1
Продукция мукомольно-крупяного производства, крахмалы и крахмалопродукты	1,13	3
Корма готовые для животных	1,14	3

Продукты пищевые прочие	1,22	1
Напитки	1,28	1
Изделия табачные	1,30	1
Текстиль	1,11	1
Одежда и ее аксессуары	1,12	1
Кожа и изделия из кожи	1,16	1
Древесина и изделия из дерева и пробки (кроме мебели), изделия из соломки и материалов для плетения	1,10	4
Целлюлоза, бумага и картон	1,09	3
Книги, газеты и прочие материалы печатные и носители информации записанные	1,11	3
Услуги печатные и продукция печатная, не включенная в другие группировки; услуги по копированию звуко- и видеозаписей, а также программных средств	1,11	3
Продукция коксовых печей	1,10	5
Нефтепродукты	1,09	4
Вещества химические основные	1,10	4
Пестициды и прочие агрохимические продукты	1,10	3
Материалы лакокрасочные и аналогичные для нанесения покрытий, краски и мастики полиграфические	1,10	4
Препараты фармацевтические, продукты медицинские химические и продукты лекарственные растительные	1,15	1
Глицерин; мыло и моющие средства, средства чистящие и полирующие, средства парфюмерные и косметические	1,18	1
Продукты химические прочие	1,09	4
Волокна и нити химические	1,10	4
Изделия резиновые	1,09	4
Изделия полимерные	1,09	3
Стекло и изделия из стекла	1,10	4
Изделия керамические, плиты и плитки, кирпичи, черепица	1,11	4
Цемент, известь и гипс	1,11	4
Изделия из бетона, гипса и цемента, камень декоративный и строительный разрезанный, обработанный и отделанный и изделия из него; продукция минеральная неметаллическая прочая	1,11	4
Железо, чугун, сталь и ферросплавы, трубы и элементы трубопроводные соединительные, продукция первичной обработки черных металлов прочая	1,11	4
Металлы основные драгоценные и цветные прочие	1,10	4

Услуги литейного производства	1,10	4
Конструкции строительные металлические (металлоконструкции), резервуары, цистерны и аналогичные емкости из металлов; радиаторы, котлы паровые и паропроизводящие	1,11	4
Услуги по ковке, прессованию, штамповке и профилированию листового металла, производству изделий методом порошковой металлургии; обработке металлов и нанесению покрытий на них; обработке металлических изделий с использованием основных технологических процессов машиностроения	1,10	4
Инструмент, ножевые изделия и универсальные скобяные изделия; металлоизделия готовые прочие	1,10	4
Механическое оборудование, станки и прочее оборудование общего или специального назначения	1,12	3
Бытовые приборы, не включенные в другие группировки	1,23	1
Офисное оборудование и его части	1,10	4
Вычислительная техника и прочее оборудование для обработки информации	1,11	3
Электрические машины и электрооборудование	1,10	4
Компоненты электронные; аппаратура для радио, телевидения и связи	1,11	3
Изделия медицинские, включая хирургическое оборудование, ортопедические приспособления	1,11	3
Приборы и инструменты для измерения, контроля, испытаний, навигации, управления, регулирования; приборы оптические, фото- и кинооборудование; часы	1,12	3
Автотранспортные средства, прицепы и полуприцепы	1,09	2
Суда, летательные и космические аппараты, прочие транспортные средства и оборудование	1,11	3
Мебель	1,26	1
Изделия ювелирные и изделия аналогичного типа	1,16	1
Разные промышленные изделия, не включенные в другие группировки	1,10	3
Вторичное сырье	1,09	5
Услуги по производству, передаче и распределению электроэнергии	1,10	3
Газы горючие искусственные и услуги по распределению газообразного топлива по трубопроводам	1,10	4

Пар и горячая вода (тепловая энергия), услуги по передаче и распределению пара и горячей воды (тепловой энергии)	1,11	1
Вода собранная и очищенная, услуги по распределению воды	1,12	3
Работы строительные	1,13	3
Услуги по торговле, техническому обслуживанию и ремонту автотранспортных средств и мотоциклов	1,14	1
Услуги по оптовой торговле, включая торговлю через агентов, кроме услуг по торговле автотранспортными средствами и мотоциклами	1,10	4
Услуги по розничной торговле, кроме услуг по торговле автотранспортными средствами и мотоциклами; услуги по ремонту бытовых изделий и предметов личного пользования; услуги по розничной торговле моторным топливом	1,30	1
Услуги гостиниц, кемпингов и прочих мест для временного проживания	1,13	3
Услуги общественного питания	1,30	1
Услуги железнодорожного транспорта	1,12	4
Услуги сухопутного транспорта прочие	1,10	3
Услуги транспортирования по трубопроводам	1,12	3
Услуги водного транспорта	1,11	4
Услуги воздушного и космического транспорта	1,12	1
Услуги транспортные вспомогательные и дополнительные; услуги туристических агентств	1,12	3
Услуги почты и электросвязи	1,16	1
Услуги по финансовому посредничеству	1,13	3
Услуги по страхованию и негосударственному пенсионному обеспечению, кроме услуг по обязательному социальному страхованию	1,15	1
Вспомогательные услуги в сфере финансового посредничества	1,15	3
Услуги, связанные с недвижимым имуществом	1,13	1
Услуги по аренде машин и оборудования (без оператора), бытовых изделий и предметов личного пользования	1,13	3
Программные продукты и услуги, связанные с использованием вычислительной техники и информационных технологий	1,15	3
Услуги, связанные с научными исследованиями и экспериментальными разработками	1,14	3



Прочие услуги, связанные с предпринимательской деятельностью	1,16	3
Услуги в сфере государственного управления, обеспечения военной безопасности и социального обеспечения	1,14	3
Услуги в области образования	1,17	3
Услуги в области здравоохранения и социальные услуги	1,13	3
Услуги по удалению сточных вод и отходов, улучшению санитарного состояния и аналогичные услуги	1,12	3
Услуги общественных организаций, не включенные в другие группировки	1,33	1
Услуги по организации отдыха, развлечений, культуры и спорта	1,13	3
Услуги персональные прочие	1,30	1
Услуги домашних хозяйств с наемными работниками	1,33	1